

УДК 681.32:004.681.3

Е.В. Одияненко, И.В. Пискун, В.А. Хорошко

Государственный университет информационно-коммуникационных технологий, Киев

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕСТОВОЙ ДИАГНОСТИКИ В ЗАЩИЩЕННЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

Предлагается метод оценки эффективности использования тестовых процедур, основанный на построении графа ошибок, позволяющего определить класс локализуемых дефектов и реализовать формальную процедуру обработки результатов тестирования.

Ключевые слова: тестовая последовательность, тест поиска дефектов, граф ошибок.

Введение

Одним из основных способов повышения надежности работы и живучести средств информационного обмена в защищенных сетях связи является организация процедур тестовой диагностики оборудования сетей информационного обмена (СИО) перед их применением по своему функциональному назначению или при устранении дефектных компонентов в процессе восстановительных работ в режиме эксплуатации. Однако применяющиеся для этой цели последовательности (ТП) не в полной мере соответствуют требованиям оперативности и точности локализации дефектов, что существенно снижает эффективность их использования, поскольку они ориентированы только на обнаружение ошибок малой кратности, возникающих в применяемых ТП под влиянием дефектов оборудования СИО. Поэтому указанные ТП используются, как правило, в качестве проверяющих, а не как тесты поиска дефектов (ТПД). Кроме того, анализ результатов выполнения тестовой процедуры отличается значительной трудоемкостью, из-за отсутствия единой формальной методики позволяющей определять диагностические свойства применяющихся ТП [1].

Анализ исследований. Таким образом, задача построения ТПД актуальна, которые при сравнительно простом генерировании ТП и незначительной трудоемкости обработки результатов тестирования, позволяют обнаружить и локализовать дефекты большой кратности в оборудовании СИО. Этим условием в значительной мере удовлетворяет ТПД, тестовые воздействия $d^{00}, d^{01}, d^{10}, d^{11}$, которые имеют следующий вид [2]:

$D = \{d^{00}, d^{01}, d^{10}, d^{11}\}; d^{00} = \{d_i^{00}\}; d_i^{00} = 0; i = \overline{1, n}$ n - число разрядов СИО;

$d^{01} = \{d_i^{01}\}; d_i^{01} = \begin{cases} 0, & \text{если } i = 2k + 1; k \in \mathbb{N}, N = 0, 1, 2, \dots; \\ 1, & \text{если } i = 2k; \end{cases}$

$d^{10} = \{d_i^{10}\}; d_i^{10} = \begin{cases} 0, & \text{если } i = 2k; \\ 1, & \text{если } i = 2k + 1; \end{cases}$

$d^{11} = \{d_i^{11}\}; d_i^{11} = 1$ и ориентирована на идентификацию независимых дефектов СИО с передачей информации параллельным кодом.

Однако для ТП такого вида не решена проблема оценки эффективности реализации для СИО с произвольной разрядностью.

Целью настоящей работы – исследование и разработка метода формальной оценки эффективности реализации предложенной ТП для определенного выбранного типа СИО.

Основная часть

Введем в рассмотрение граф $G = (AB)$, где $A = \{a, \rho, \varepsilon\}$ – множество вершин; $\rho = 0, \omega$; $\omega \in \mathbb{N}; \varepsilon = 0, \sum_{i=0}^{\rho} 2^i; \beta$ – множество дуг. Множество

вершин A представим в виде $A = \bigcup_{\rho=0}^{\omega} A^{\rho}$, где

$A^0 = \{a_0 i_0 | a_0 i_0 \in A, \Gamma^{-1}(a_0, i_0) = \emptyset\}, i_0 = 0;$

$A^1 = \{a_1 i_1 | a_1 i_1 \in A - A^0, \Gamma^{-1}(a_1, i_1) \subset A^0\}, i_1 = \overline{0, 1};$

$A^2 = \{a_2 i_2 | a_2 i_2 \in A - (A^0 \cup A^1), \Gamma^{-1}(a_2, i_2) \subset A^1\}, i_2 = \overline{0, 3};$

...

$A^{\omega} = \left\{ \begin{array}{l} a_{\omega} i_{\omega} \in A - \\ - \bigcup_{\rho=0}^{\omega} A^{\rho}, \Gamma^{-1}(a_{\omega}, i_{\omega}) \subset A^{\omega-1}, \Gamma(a_0, i_0) = \emptyset \end{array} \right\},$
 $i_{\omega} = 0, 2^{\omega} - 1.$

таким образом, $(\forall a_{\rho}, \varepsilon \in A^{\rho}) |\Gamma(a_{\rho}, \varepsilon)| = 0 \vee 2$. [3] Подмножества A^{ρ} образуют разбиение множества A и упорядочены так, что если вершина принадлежит подмножеству с номером ρ , то следующая за ней вершина принадлежит подмножеству с номером большим ρ . Подмножества A^{ρ} такого разбиения соответствует рангу ρ графа G .

Присвоим вершинам $a_{\rho, \varepsilon} \in A^{\rho}$ графа G веса $h_{\rho, \varepsilon} = [h'_{\rho, \varepsilon}, h''_{\rho, \varepsilon}] \in H$, где $[h'_{\rho, \varepsilon}, h''_{\rho, \varepsilon}]$ – двух элементный кортеж прямого произведения множеств

$$H' = \{h'_{0,0}, h'_{1,0}, h'_{1,1}, \dots, h'_{\omega, 2^{\omega}-1}\}$$

$$\text{и } H'' = \{h''_{0,0}, h''_{1,0}, h''_{1,1}, \dots, h''_{\omega, 2^{\omega}-1}\}, H = H' \bullet H'' = \{[h'_{\rho, \varepsilon}, h''_{\rho, \varepsilon}] | h'_{\rho, \varepsilon} \in H', h''_{\rho, \varepsilon} \in H''\}.$$

Таким образом, каждая вершина графа G

$$a_{0,0} \rightarrow h_{0,0} = [h'_{0,0} \bullet h''_{0,0}];$$

$$a_{1,0} \rightarrow h_{1,0} = [h'_{1,0} = h'_{0,0} + 1; h''_{1,0} = h''_{0,0} - 1];$$

$$a_{1,1} \rightarrow h_{1,1} = [h'_{1,1} = h'_{0,0} - 1; h''_{1,1} = h''_{0,0} + 1];$$

...

$$a_{\omega, 2^{\omega}-1} \rightarrow h_{\omega, 2^{\omega}-1} =$$

$$= \left[\begin{array}{l} h'_{\omega, 2^{\omega}-1} = h'_{\omega, 2^{\omega}-1} + (-1)^{\omega}; \\ h''_{\omega, 2^{\omega}-1} = h''_{\omega, 2^{\omega}-1} + (-1)^{(\omega+1)} \end{array} \right],$$

где

$$\begin{cases} h'_{0,0} = h''_{0,0} = \frac{n}{2}, \text{ если } 1; \\ h'_{0,0} = \frac{n+1}{2}, h''_{0,0} = \frac{n-1}{2}, \text{ если } 2, \end{cases}$$

$$1. n \in N_0, N_0 = 2k, k \in N;$$

$$2. n \in N_1, N_1 = 2k + 1;$$

n – количество разрядов СИО.

Определение 1. Вершины графа G будут иметь равные веса, если

$$\forall a_{\rho, \varepsilon} \forall a_{\alpha, \beta} \in A \{ \rho = \alpha, h'_{\rho, \varepsilon} = h'_{\alpha, \beta}, h''_{\rho, \varepsilon} = h''_{\alpha, \beta} \Rightarrow h_{\rho, \varepsilon} = h_{\alpha, \beta} \}.$$

Рассмотрим множество вершин $A^{\rho} = \{a_{\rho, 1}, a_{\rho, 2}, \dots, a_{\rho, 2^{\rho}-1}\}$, принадлежащих рангу

ρ , и множество весов $H^{\rho} = \{h_{\rho, 1}, h_{\rho, 2}, \dots, h_{\rho, 2^{\rho}-1}\}$, соответствующих этим вершинам. Определим подмножества

$$h_{\alpha}^{\rho} \subset H^{\rho}; \alpha = \overline{1, \rho+1}; h_{\alpha}^{\rho} = \{h_{\rho, \alpha_1}, h_{\rho, \alpha_2}, \dots, h_{\rho, \alpha_q}\}, \text{ причём } \forall a_i \forall d_j \{h_{\rho, \alpha_i}, h_{\rho, \alpha_j} \in h_{\alpha}^{\rho} \Rightarrow h_{\rho, \alpha_i} = h_{\rho, \alpha_j}\}, \text{ т.е.}$$

множество H^{ρ} разбивается на непересекающиеся подмножества h_{α}^{ρ} , элементы которого связаны отношением эквивалентности и взаимозаменяемы в том смысле, что любой из этих элементов определяет данный класс, т.е. может служить его представителем.

$$\text{Подмножество } \overline{H^{\rho}} \subset H^{\rho}, \overline{H^{\rho}} = \{\overline{h_1^{\rho}}, \overline{h_2^{\rho}}, \dots, \overline{h_{\rho+1}^{\rho}}\},$$

причем $\forall h_{\rho, \alpha_i} \in h_{\alpha}^{\rho} \exists! \overline{h_{\alpha}^{\rho}} \in \overline{H^{\rho}} \{ \alpha = \alpha_i \Rightarrow h_{\rho, \alpha_i} = \overline{h_{\alpha}^{\rho}} \}$, образует систему представителей. Используя отображение $H: A^{\rho} \rightarrow \overline{H^{\rho}}$, разобьём множество A^{ρ} на непересекающиеся подмножества A_{α}^{ρ} ,

$$\forall a_{\rho, \alpha_i} \in A_{\alpha}^{\rho} \{ (a_{\rho, \alpha_i} \rightarrow h_{\rho, \alpha_i}) \Rightarrow \overline{h_{\alpha}^{\rho}} \in \overline{H^{\rho}} h_{\rho, \alpha_i} = \overline{h_{\alpha}^{\rho}} \}, 1 \leq i \leq v.$$

Определим подмножество

$$\overline{A^{\rho}} \subset A^{\rho}, \overline{A^{\rho}} = \{\overline{a_{\rho, 1}}, \overline{a_{\rho, 2}}, \dots, \overline{a_{\rho, \rho+1}}\},$$

причем

$$\forall i \forall j \{ \overline{a_{\rho, i}} \in \overline{A^{\rho}}, i \leq \rho+1 \in \overline{A^{\rho}} \& \overline{a_{\rho, j}} \in \overline{A^{\rho}}, i \neq j \Rightarrow \overline{h_i^{\rho}} \neq \overline{h_j^{\rho}} \},$$

т.е. каждой вершине $\overline{a_{\rho, \alpha}} \in \overline{A^{\rho}}$ будет соответствовать вес, отличный от весов других вершин. Рассмотрим множество дуг b , и пусть все дуги, положительно (отрицательно) инцидентные вершинам $\overline{a_{\rho, \alpha_i}} \in \overline{A^{\rho}}$ будут соответствовать положительно (отрицательно) инцидентны $\overline{a_{\rho, \alpha}} \in \overline{A^{\rho}}$. В результате

такого преобразования графа $G = (A, B)$ получим новый граф $\overline{G} = (\overline{A}, \overline{B})$. Определим вершины $\overline{a_{\rho, \alpha}}$ графа \overline{G} , компоненты $\overline{h'_{\rho, \alpha}}$ или $\overline{h''_{\rho, \alpha}}$ весов $\overline{h_{\alpha}^{\rho}}$ которых больше или равны величине ранга ρ и обозначим их $\overline{a_{\rho, \alpha}}$. Присвоим дугам графа \overline{G} веса в соответствии со следующим правилом. Пусть имеется дуга $\overline{b_{\rho, \varepsilon, \rho+1, \varepsilon+1}}$ вес $\mu^{(+)}$, в противном случае $\mu^{(-)}$.

Определение 2. Графом ошибок будем называть подграф $\overline{G}_0 = (\overline{A}_0, \overline{B}_0)$ взвешенного графа $\overline{G} = (\overline{A}, \overline{B})$ у которого начальной является вершина $\widehat{a}_{0,0}$, а конечной $\widehat{a}_{\rho, \alpha}$.

Граф ошибок $\overline{G} = (\overline{A}_0, \overline{B}_0)$ позволяет определить класс локализуемых ошибок (при возникновении которых устанавливается место неисправности СИО, вызывающей эти ошибки, с точностью до одного разряда) и эффективность тестовой диагностики

$$\text{ки } P_n^{\rho} = \frac{W_{\Delta}^{\rho}}{W_{\text{общ}}^{\rho}}, \text{ где } n \text{ – количество разрядов СИО;}$$

ρ – кратность ошибки; W_{Δ}^{ρ} – количество локализуемых ошибок кратности ρ ; $W_{\text{общ}}^{\rho}$ – общее число возможных ошибок кратности $\rho_{\text{гр}}$ в тестовом наборе, при использовании ТП $D = \{d^{00}, d^{01}, d^{10}, d^{11}\}$.

Следовательно, для оценки эффективности необходимо вычислить W_{Δ}^{ρ} и $W_{\text{общ}}^{\rho}$. Для решения этой задачи справедливы следующие утверждения. *

Утверждение 1. Если в ранге ρ графа ошибок $\bar{G}_0 = (\bar{A}_0, \bar{B}_0)$ не содержатся конечные вершины $\hat{a}_{\rho, \alpha}$, то все ошибки кратности ρ будут локализованы.

* Доказательство утверждений в силу громоздкости в статье не приводится.

Утверждение 2. Если в ранге ρ графа ошибок $\bar{G}_0 = (\bar{A}_0, \bar{B}_0)$ содержится только конечные вершины $\hat{a}_{\rho, \alpha}$, то ошибки кратности ρ не локализируются.

На основании утверждения 2 $W_{\Delta}^{\rho} = 0$, следовательно $P_n^{\rho} = 0$.

Утверждение 3. Если в ранге ρ графа ошибок $\bar{G}_0 = (\bar{A}_0, \bar{B}_0)$ содержатся как конечные вершины $\hat{a}_{\rho, \alpha}$, так и неконечные вершины $\bar{a}_{\rho, \varepsilon}$, то только часть ошибок кратности ρ будет локализована.

Определим величины W_{Δ}^{ρ} и $W_{\text{общ}}^{\rho}$. Общее число возможных ошибок кратности ρ $W_{\text{общ}}^{\rho} = C_n^{\rho}$, т.е. числу сочетаний без повторов из n по ρ . Пусть в ранге ρ графа ошибок \bar{G}_0 содержатся конечные вершины $\hat{a}_{\rho, \alpha}$, $i = \overline{1, v}$. Найдем вес $b_{\alpha_i}(\mu)$ пути α_i от начальной вершины $\bar{a}_{0,0}$ до конечной вершины $\hat{a}_{\rho, \alpha}$, равный сумме весов $\mu^{(+)}$ и $\mu^{(-)}$ всех дуг b_{α_i} , входящих в путь α_i :

$$b_{\alpha_i}(\mu) = \sum_{b_{\alpha_i} \in \alpha_i} \mu^{(+)} + \sum_{b_{\alpha_i} \in \alpha_i} \mu^{(-)} = q_1 [\mu^{(+)}] + q_2 [\mu^{(-)}].$$

Число $q_1(q_2)$ будет соответствовать кратности ошибки в четных (нечетных) разрядах, которые не

локализируются, причем $q_1 + q_2 = \rho$. Количество ошибок кратности ρ $W_{\alpha_i}^{\rho} = C_{n_1}^{q_1} C_{n_2}^{q_2}$, где n_1 – число четных разрядов СИО; n_2 – число нечетных разрядов СИО. Общее количество нелокализуемых ошибок кратности ρ равно $W_{\text{нл}}^{\rho} = \sum_{i=1}^v W_{\alpha_i}^{\rho}$, тогда

$$W_{\Delta}^{\rho} = W_{\text{общ}}^{\rho} - W_{\text{нл}}^{\rho}.$$

Следовательно,

$$P_n^{\rho} = \frac{W_{\text{общ}}^{\rho} - \sum_{i=1}^v W_{\alpha_i}^{\rho}}{W_{\text{общ}}^{\rho}}.$$

Выводы

Данный метод был использован для определения класса локализуемых ошибок и оценки эффективности тестовой диагностики при синтезе тестов для шестнадцати и тридцати двух разрядных защищенных сетей информационного обмена между абонентами, что позволило значительно сократить время разработки тестов поиска дефектов и устранения их.

Список литературы

1. Браиловский Н.Н. Оценка качества функционирования систем защиты информации / Н.Н. Браиловский, В.С. Орленко, В.А. Хорошко // *Сучасний захист інформації*. – 2010. – № 4. – С. 9-15.
2. Петров А.А. Безопасность информационных и коммуникационных систем / А.А. Петров, В.А. Хорошко. – Луганск: Изд. ВНУ им. В. Даля, 2008. – 128 с.
3. Оре О. Теория графов / О. Оре – М.: Наука, 1980. – 336 с.

Поступила в редколлегию 14.04.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Лужецкий, Винницкий национальный технический университет, Винница.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕСТОВОЇ ДІАГНОСТИКИ У ЗАХИЩЕНИХ МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ

О.В. Одіяненко, І.В. Піскун, В.О. Хорошко

Пропонується метод оцінки ефективності використання тестових процедур, заснований на побудові графа помилок, що дозволяє визначити клас дефектів, що локалізуються і реалізувати формальну процедуру обробки результатів тестування.

Ключові слова: тестова послідовність, тест пошуку дефектів, граф помилок.

EVALUATION OF DIAGNOSTIC TEST IN PROTECTED COMMUNICATION NETWORKS

O.V. Odiyanenko, I.V. Piskun, V.O. Khoroshko

Propose a method for assessing effectiveness of testing procedures based on constructing a graph of errors, allowing to determine the class of localized defects and implement a formal procedure for processing test results.

Keywords: test sequence, test defect detection, graph errors.